

MORRISON & FOERSTER LLP

Attorneys at Law
425 Market Street
San Francisco, California 94105-2482
Telephone: (415) 268-7000
Facsimile: (415) 268-7522

To: Examiner Dave Bloom
U.S. Patent and Trademark Office
Re: Serial No.: 09/904,162
Semiconductor Substrate, Light-Emitting Device, and Method for Same

Facsimile: 703 746 3870
Telephone: 703 306 9168

From: Thomas Chuang

Date: April 8, 2002

We are transmitting a total of 5 pages (including this page).
Original or hard copy to follow if this box is checked .

If you do not receive all pages, please call (415) 268-6997 as soon as possible.

Preparer of this slip has confirmed that facsimile number given is correct: 7669/KKO1

This facsimile contains confidential information which may also be privileged. Unless you are the addressee (or authorized to receive for the addressee), you may not copy, use, or distribute it. If you have received it in error, please advise Morrison & Foerster LLP immediately by telephone or facsimile and return it promptly by mail.

Comments: In response to your telephone message, we are faxing the requested translated Japanese reference: Tanaka et al.

29900-2048410

InGaN Selective Growth by MOVPE

東工大・精研
P & I lab, Tokyo Inst. Tech. A. Inoue, T. Sakaguchi, N. Mochida, T. Shirasawa, M. Iwata, F. Koyama and K. Iga
ainoue@pi.titech.ac.jp

1.はじめに 寶化物半導体は物理的・化学的に効率的なためデバイス製作の加工プロセスを困難にしている。寶化物半導体の選択成長は、GaN, AlGaN で報告がなされている^{1,2}。今回我々は所定の構造を得るために、InGaN の選択成長を試みたので結果を報告する。

2.実験 eMRF サファイア上に成長した GaN 層上 (膜厚 0.4 μm) に、スパッタ装置を用いてマスクとなる SiO₂ 膜 (膜厚 500 nm) を堆積した。フォトリソグラフィにより、円形、ストライプ型パターンを形成した。InGaN (膜厚 0.4 μm) の成長は、2 フロー常圧型 MOVPE 装置を用いて、N₂ キャリアで行った。成長速度は 800 nm/h である。In の取り込みを確認するために X 線測定と、断面形状を確認するために SEM 観察を行った。^{3,4}

3.結果 成長後、SiO₂ マスク上に多結晶が観測された。SiO₂ マスク上の多結晶は SiO₂ と共に剥離できることがわかった。図 1 はマスク上多結晶剥離後の X 線回折測定結果である。X 線回折測定から In の組成は約 24% と見積もられる。図 2 はストライプ型 (幅 20 μm) に成長した InGaN の SEM 像である。InGaN 層の上には比較的小量である。

本研究の一部は文部省科学研究 COE (#07CE2003 「超並列光エレクトロニクス」) の援助を得た。

1) Y. Kato, S. Kitamura, K. Hiramatsu and N. Sawaki, J. Cryst. Growth 144, 182 (1994)

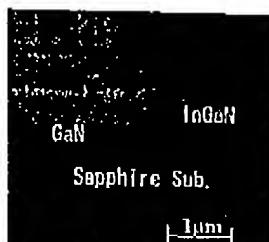
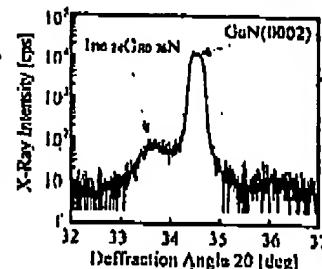


図 1 X 線回折測定
図 2 SiO₂ マスク剥離後の断面 SEM 像

2p-Q-13

MOVPE 法によるラテラル成長を伴った GaN の選択成長

Selective Growth of GaN with Lateral Growth by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy

NEC 光・超高速度デバイス研究所 基礎研究所 ¹木村朝隆 ²鶴岡千秋 ³酒井朗 ⁴種共彰

^{1,2}リッジ構造は、GaN 系半導体レーザのしきい電流を低減し、長寿命化を図る上で有効である⁵。リッジ型レーザにおいて p 型との接触抵抗および p 型 GaN コンタクト層のパルク抵抗を下げるためには、選択成長法により大きくラテラル成長した p 型 GaN コンタクト層を形成することが望ましい。我々は、基板に対し水平/垂直方向の成長速度比が大きな GaN の選択成長を実現したので報告する。

[方法] GaN の <11-20> および <1-100> 方向に平行なストライプ状の開口部を持つ SiO₂ および SiN_x マスクで被われた GaN 層上に、減圧 MOVPE 法により GaN の選択成長を行なった。

[結果・考察] いずれのマスク材の場合に於いても、<11-20> 方向のストライプのラテラル成長は小さく、水平/垂直方向の成長速度比は 0.05 以下であったのにに対し、<1-100> 方向のストライプのラテラル成長は大きく、水平/垂直方向の成長速度比は 1.9 であった (Fig. 1(a) および (b))。これは、<1-100> 方向のストライプの側壁には成長速度の極めて遅い (1-101) 面が形成されるのにに対し、<1-100> 方向のストライプの側壁には (1-101) 面が形成されないためと考えられる。断面 TEM 観察より、ラテラル成長により形成された GaN 層とマスクとの界面からは、新たな結晶欠陥は生じていないことが確認された。また、<1-100> 方向のストライプの断面は、SiO₂ マスクの場合には台形となり (Fig. 1(a))、SiN_x マスクの場合には長方形となつた (Fig. 1(b))。この差は、III 族原料の供給量を変えた実験から、マスク材の違いにより成長表面での実質的 V/III 比が変化したためと考えられる。

1) S. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 4056. 2) Y. Kato et al., J. Crystal Growth 144 (1994) 133.

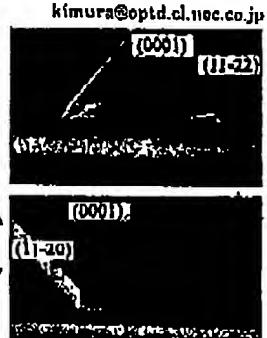


Figure 1 Selectively grown GaN stripes in the <1-100> direction (a) with SiO₂ masks and (b) with SiN_x masks.

2p-Q-14.

選択成長窒化物結晶の転位密度低減

Reduced dislocation densities in selectively-grown nitride materials

日立中研 田中俊明 齋木茂 川中敏
CRL, Hitachi Ltd., T. Tanaka, S. Aoki, S. Kawanaka
E-mail toshi@crl.hitachi.co.jp

はじめに 結晶成長技術の向上により、窒化物光デバイスの電子特性が改善されている。しかししながら、窒化物結晶における高い転位密度は電子特性に影響し、電極材料の抵抗率や散乱光損失の増大を招いている。転位密度の低減は電子の長期安定動作に対しても重要な課題であり、それを可能とする手法が期待されている。本報告では、選択成長技術により低転位密度の結晶領域を形成する内容について述べ、光デバイスの導波路構造へ適用することを提案する。

方法及び結果 サファイア基板上に SiO₂ 接触膜パターンを設けて、MOVPE 法により GaN 層を選択成長させた。図 1 には、基板と SiO₂ パターンの境界領域における GaN 結晶の平面 TEM 像を示す。基板上の GaN 結晶では転位密度が 10^4 ~ 10^5 cm⁻² であるのにに対し、SiO₂ 上では 10^2 ~ 10^3 cm⁻² に減少している。低転位の GaN 結晶領域は、SiO₂ 上で横方向成長していることと、横方向に転位が挿入し難いことによって得られているものと考えられる。この結果をもとに、致い SiO₂ ストライプ上で横方向に選択成長させて GaN 結晶を合体させる技術を行なった。SiO₂ 上に形成された GaN 結晶の断面 TEM 像を図 2 に示す。SiO₂ 上では、横方向に挿入したり断面に発生する転位が観察されない高品質な GaN 結晶領域となっている。本手法の選択成長技術を応用すれば、結晶膜のパターン幅や形状を調整することによって、低転位密度の窒化物結晶構造からなる導波路構造を設計できるものと期待される。

- 1) M. Osiński et al., Appl. Phys. Lett. 69, 898 (1996).
- 2) Z. L. Liu et al., Appl. Phys. Lett. 69, 1665 (1996).
- 3) 田中 俊, 平成 7 年応物学会予稿集 1, 27p-ZE-14.



図 1 選択成長 GaN 結晶の平面 TEM 像

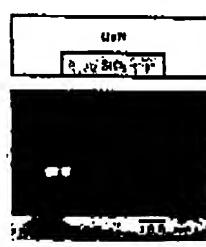


図 2 SiO₂ ストライプ上 GaN 結晶の断面 TEM 像

Partial Translation of Extended Abstracts 2p-Q-14 and 2p-Q-15 (The 58th Meeting, 1997); The Japan Society of Applied Physics

Publication Month: October, 1997

(Page 265)

2p-Q-14

Reduced dislocation densities in selectively-grown nitride materials

CRL, Hitachi Ltd., T. Tanaka, S. Aoki, S. Kawanaka

Introduction Due to the advancement of a crystal growth technique, device characteristics of a nitride optical device has been improved. However, a high dislocation density in nitride crystal affects device characteristics, which results in diffusion¹⁾ of an electrode material and an increase²⁾ in scattering light loss. The reduction in location density is important for a long-term stable operation of a device, and there has been a demand for a procedure which enables the location density to be reduced. In the present report, formation of a crystal region with a low dislocation density by a selective growth technique will be described, and it is suggested that such formation is applied to a waveguide structure of an optical device.

Method and Result A SiO₂ insulating film pattern was provided on a sapphire substrate, and a ³⁾sample in which GaN crystal is selectively grown by a MOVPE method was evaluated. Figure 1 shows a plane TEM image of GaN crystal in a boundary region between the substrate and the SiO₂ pattern. A dislocation density of GaN crystal on the substrate is 10⁹ to 10¹⁰ cm⁻², whereas a dislocation density on the SiO₂ pattern is reduced to 10⁵ to 10⁶ cm⁻². It is considered that the GaN crystal region with low dislocation is obtained for the following reasons: GaN crystal is grown in a lateral

direction on the SiO_2 pattern and dislocation is unlikely to enter in a lateral direction. Based on this result, the following study was conducted: GaN crystal was selectively grown in a lateral direction on the narrow SiO_2 stripe, and the GaN crystal was combined. Figure 2 shows a cross-sectional TEM image of the GaN crystal formed on the SiO_2 pattern. On the SiO_2 pattern, a high-quality GaN crystal region is obtained, in which dislocation does not enter in a lateral direction and dislocation is not newly generated. If the selective growth technique of the present procedure is applied, it is expected that a waveguide structure made of a nitride crystal region with a low dislocation density can be designed by controlling a pattern width and a shape of the insulating film.

- 1) M. Osinski et al., Appl. Phys. Lett. 69, 898 (1996)
- 2) Z.L. Liau et al., Appl. Phys. Lett. 69, 1665 (1996)
- 3) Tanaka et al., Extended Abstract 1, 27p-ZE-14 of The Japan Society of Applied Physics (1995)

(Page 266)

2p-Q-15

Thick GaN crystal growth with low defect density by hydridevapor phase epitaxy

NEC Corp. Optoelectronics and High Frequency Device Res. Labs., Fundamental Res. Labs.

H.Sunakawa, C.Sasaoka, A.Kimura, A.Sakai, A.A.Yamaguchi, and A.Usui

[Introduction] It has been attempted that GaN bulk crystal is grown by utilizing characteristics of a high growth rate of hydride VPE (HVPE)¹⁾. However, since sapphire which has different lattice constant and coefficient of thermal expansion is used for a substrate, cracks are formed when a film thickness is increased, which makes it difficult to obtain

U.S. Patent Application S.N. 09/289,575
AND 09/1904,162

uniform crystal in a large area. The present report will describe that by using selective growth, GaN bulk crystal with a defect density lowered by two orders of magnitude compared with a conventional example can be grown on a two-inch sapphire substrate without any cracks.

[Experiment and Result] For selective growth, a wafer was used, in which a stripe-shaped window is formed by using SiO_2 on GaN grown on a sapphire C-plane by an MOVPE method. The stripe direction was [11-20] of GaN, and a mask width was 2 to 4 μm . Furthermore, stripes were formed over the entire growth surface with a pitch of 7 μm . A growth temperature of HVPE was 1000°C, and a growth rate was 45 to 52 $\mu\text{m}/\text{hr}$. Figures (a), (b), and (c) show SEM photographs of GaN grown for 2.5, 10, and 20 minutes, respectively. In this growth, first, as shown in Figure (a), a triangle facet structure made of (1-101) plane is formed. When growth proceeds, as shown in Figure (b), selectively grown portions were combined, and a completely flat GaN surface appeared with a film thickness of about 19 μm as shown in Figure (c). According to ordinary HVPE, cracks were generated from the interface between the GaN and the substrate when a film thickness was 8 μm . However, according to the present procedure, cracks were not generated even when GaN was grown to a thickness of 320 μm on a two-inch substrate. Furthermore, it was found that a dislocation density was decreased by about two orders of magnitude ($6 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$), compared with GaN on ordinary sapphire. Improvement of characteristics can be expected by growing a device structure on the GaN crystal.

- 1) K. Naniwae et al., J. Cryst. Growth 99(1990)381
- 2) Sakai et al.: Extended Abstract of the Japan Society of Applied Physics